

そろうメトロノームと機械の振動

| | |
|-----|---|
| 著者 | 熊谷 正朗 |
| 雑誌名 | プラントエンジニア |
| 巻 | 50 |
| 号 | 1 |
| ページ | 76-77 |
| 発行年 | 2018-01 |
| URL | http://id.nii.ac.jp/1204/00024071/ |

そろうメトロノームと機械の振動

子供向けの理科系番組を見ていたところ、面白い現象の実験をしていました。丸い筒をコロにして、その上に板を置いて左右に自由に動くようにした台を作ります。その上に周期設定が異なるメトロノームを2台あるいは30台くらい置いて、ばらばらにスタートさせると、そのうち針の揺れが同期する、というものです。ネットでも「メトロノーム 同期」で検索すると同様の実験の動画が見つかります。直感的には、一種の振り子であるメトロノームの固有周波数付近での周波数特性と、振り子の揺れの反作用による板の左右の動きで起きているようです。

メカトロにおいて、振動現象は一部で有効活用されているものの、多くの場合は好ましくないものとして扱われています。いずれの場合にも、固有周波数が大きくかかわってきます。

振動するものは、なんらかの原理で、揺れやすい振動周期を持ちます（「 $1 \div \text{周期}$ 」が周波数＝1秒あたりの回数）。わかりやすい例は振り子で、傾けて放すと、主に振り子の長さで決まる周期で揺れます（傾ける角度を大きくすると、周期は少し長くなる）。ほかには、ぴんと張ったゴム紐、端を固定した定規、などもあります。このような形ある「もの」が揺れる場合の多くでは、「質量」の「位置が変わること」と、「変わった位置に比例して戻そうとする力」が関係しています。振り

子が傾くと、真下に戻ろうとする力が作用し、ゴム紐も定規もまっすぐに戻ろうとします。数式的に言えば、「物の質量×物の加速度＝かかる力」という運動の式に対して、かかる力が位置に比例、かつ位置のズレに反対向き、となる式が立ちます。加速度は位置を時間で2回微分したもので、「物の質量×位置の2階微分＝－力の比例定数×位置」となります。この式を満たすものが正弦波関数で、質量と比例定数で周期が定まります。振り子に質量の影響がないのは、＝の右の「かかる力」が「重力＝質量×重力加速度」を元にしていて、左の質量と帳消しになるためです。より詳細には、この振動が減衰していく特性もあります。

さて、この振動物に外部から力などを加えると、その周期によって大きく異なる様子が見られます。適当な振り子を用意して実験してみましょう。500mm くらいの紐と錘で振り子を作ってみてください。5円玉に糸、でもよいですし、靴の紐をほどいてぶら下げたものでもかまいません。

まず、紐を手で持って、まっすぐぶら下げた状態でゆっくり（往復10秒以上）手を左右に動かしてみます。このとき、振り子は大きく揺れ動くことなく、左右に手の動きと同じ程度動きます。つぎに、手を左右になるべく速く往復させてみてください（1秒に2、3往復）。少しは揺れますが、

熊谷正朗 —KUMAGAI MASA-NAKI—

東北学院大学 工学部 機械知能工学科 教授

東北学院大学工学部 教授／仙台市地域連携フェロー(ロボットメカトロ系担当)。2000年東北大学大学院工学研究科修了、博士(工学)、同大助手。03年東北学院大学講師、助教授、准教授を経て、現在に至る。ロボメカ系開発を専門とし、メカの設計からマイコンやサーバのソフト開発までを行う。「基礎からのメカトロニクス講座」や地域企業訪問も実施中。



錘の位置はあまり変わらず、手の動きにはついてきません。その間のある周期で動かすと、手をほとんど動かさなくとも振り子は大きく揺れます。あるいは、振り子を手で揺らそうとすると、自然にその揺れ方になると思います。

これが振り子の周波数特性です。外部からの周期的な力などで、固有周波数では小さな入力で大きく揺れ動く共振が起きます。その周波数からズレると共振しなくなり、周波数が低い場合は入力に応じた幅で、高い場合は、高いほど小幅になります。また、低いときは同じ方向に、高いときにはよく見るとほぼ逆方向に動いています。

この特性は機械を扱ううえで非常に重要で、機械が異常に振動を起こす場合や、機械から騒音・ビリつきが出る場合の主な原因のひとつです。機械は繰り返し動作することが、何らかの震動源になります。典型的にはモータなどの動力源の回転速度にも由来し、3000rpmのモータがあると50Hzになります(それが原因で100Hz、200Hzや25Hzが生じる場合もあります)。これによって機械の共振が引き起こされると大きく振動しますし、その周波数が聞こえる範囲だと音になります。また、ハンマーのようなもので何かを打撃することも、振動のきっかけになります(叩いた後でビーンとなる現象；鋭い衝撃には広範囲にさまざまな周波数の成分が混じっている)。

言い換えれば、この共振が起こらないようにすることが大きな振動・騒音の対策になります。

対策のひとつはもととなる振動を低減、あるいは吸収して伝わりにくくすることで、回転部の芯を出すこと(精度向上、釣合い錘をつける等)やゴムによる防振材などがあります。もうひとつは共振の周波数を変えることです。たとえば、あえて質量を大きくするか剛性を下げると固有周波数が低くなります。発生する振動がこれより十分高い周波数なら、前述の振り子のように伝わりにくくなります。しかし、たとえばその機械を低速運転すると原因の周波数が下がってきて、ちょうど共振が起こる可能性があります。以前見かけた現象では、路線バス車内の手すりの横棒が、走行中は問題ないのに、信号待ちでエンジンの回転数が下がったときに激しく揺れていました。そのため、剛性を上げる(力で変形しにくくする；パネの性質を固くする)対策をとることが多いようです。ただし、それでも振動には高調波という整数倍の成分が含まれることがありますし、単に強くしようとすると質量も増えてしまったり(周波数を下げる要因となる)、簡単ではないと聞きます。

メカトロまで話を広げると、電氣的な振動や、水晶振動子のような機械・電気のコラボ、制御によって引き起こされる振動なども数々ありますが、今回はこのあたりまでにて。